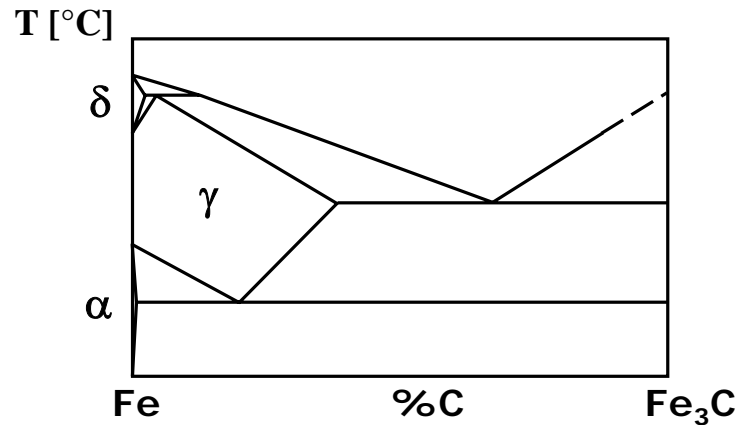


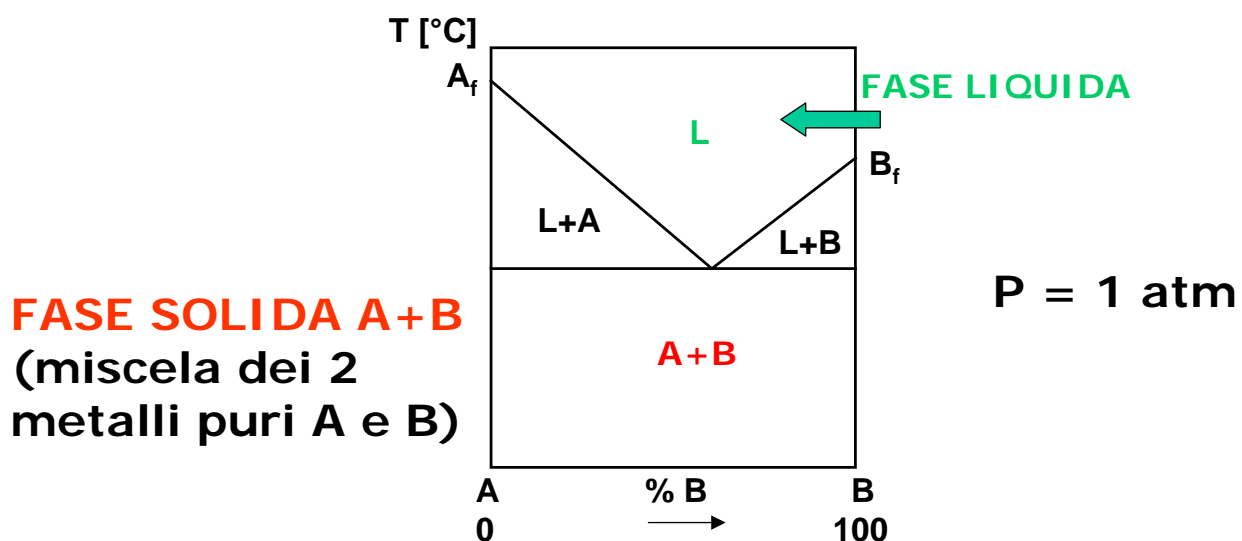
I DIAGRAMMI DI STATO

Cosa sono e a che cosa servono



G.M. La Vecchia – Università di Brescia
Dipartimento di Ingegneria Meccanica

DIAGRAMMI DI STATO diagrammi di equilibrio



Rappresentazione grafica delle condizioni di equilibrio alle varie temperature di un sistema costituito da un metallo base + ulteriori elementi chimici

DIAGRAMMI DI STATO

- se il sistema è costituito da 2 elementi \Rightarrow **diagramma di stato binario** \Rightarrow grafico bidimensionale
- se il sistema è costituito da 3 elementi \Rightarrow **diagramma di stato ternario** \Rightarrow grafico tridimensionale

DIAGRAMMI DI STATO

Qualsiasi sia il diagramma di stato considerato si ipotizza un raffreddamento sufficientemente lento

 passaggio attraverso successivi stati di equilibrio

Condizioni nettamente diverse dai trattamenti termici di interesse industriale

DIAGRAMMI DI STATO DI PARTICOLARE INTERESSE

Acciai e ghise (leghe Fe-C)

Cenni alle modifiche del diagramma Fe-C per introduzione di elementi che determinano soluzioni solide con il Fe:

- 1) elementi che **allargano** il campo γ
- 2) elementi che **restringono** il campo γ

Il diagramma Fe-C

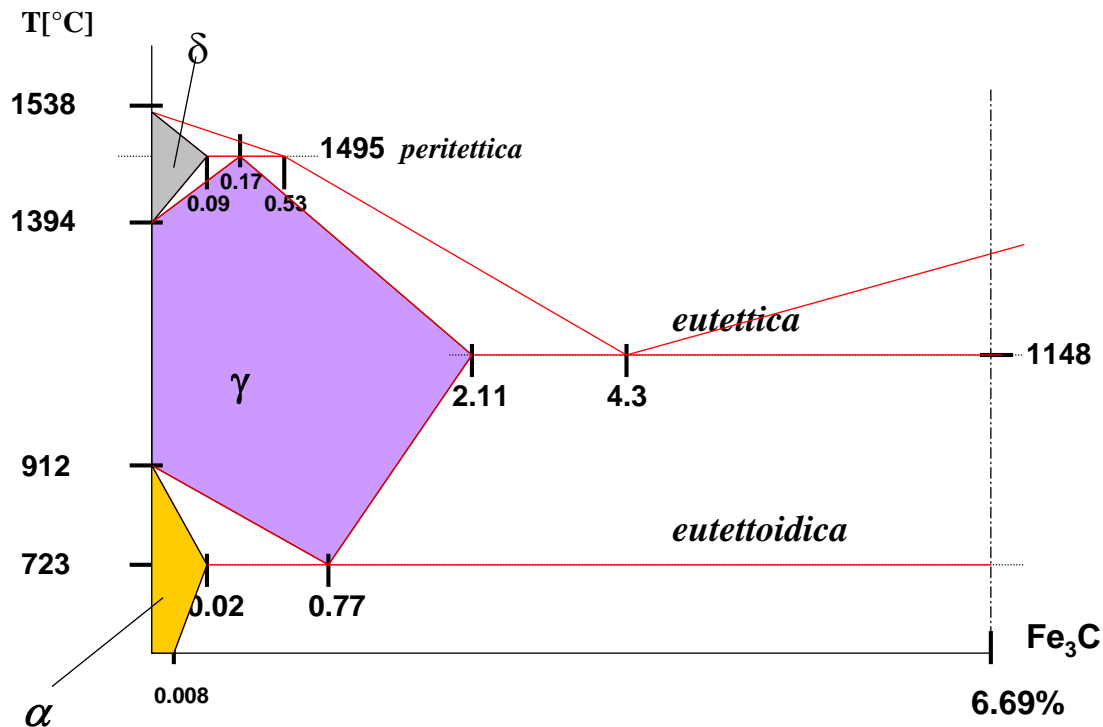
Le strutture di equilibrio delle leghe **Fe-C** (*acciaio, ghisa*) sono rappresentate da tale diagramma

In assenza di riscaldamenti troppo prolungati, di velocità di raffreddamento particolarmente lenta e di elevati tenori di elementi grafitizzanti, il **Fe** ed il **C** si combinano per formare il composto interstiziale **Fe₃C** o **cementite**

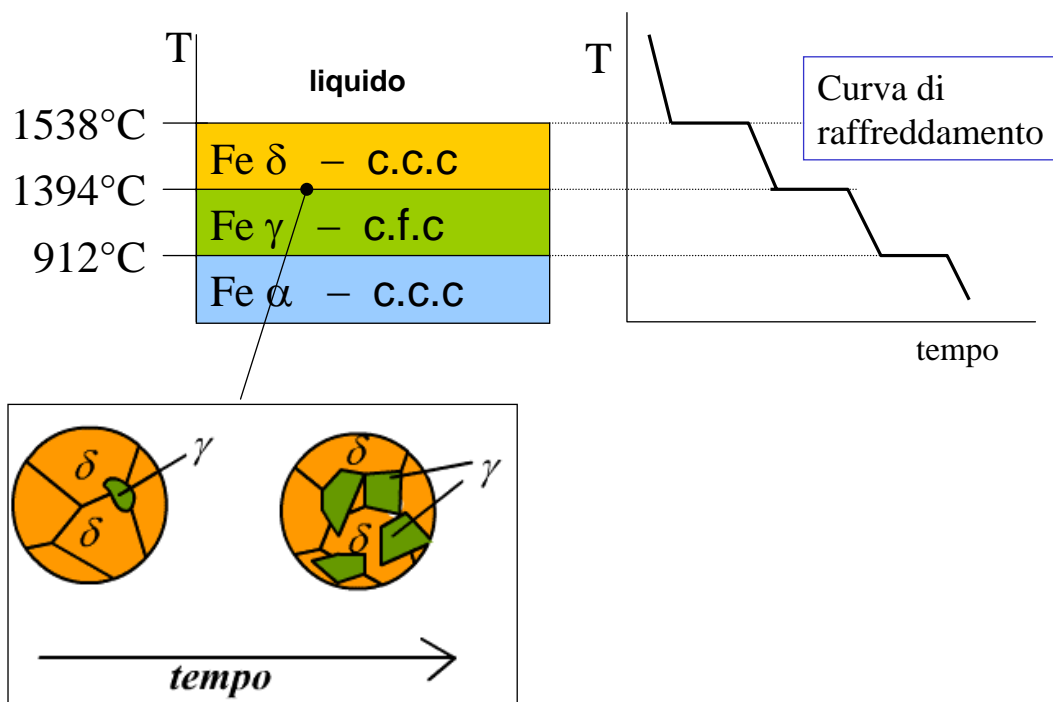
Il diagramma di riferimento (condizioni normali) risulta il **Fe-Fe₃C**

Il tenore di **C** nella **Fe₃C** (contenuto stechiometrico) è pari al 6,69%
⇒ la gradazione dell'asse delle ascisse termina in corrispondenza di questo valore

Costruzione del diagramma Fe-C per punti

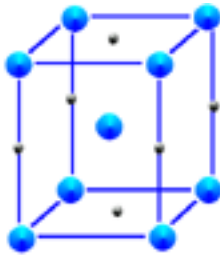


Il **Fe puro** è **polimorfo**, esistendo in varie forme allotropiche



I reticoli cristallini

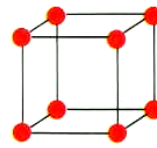
Molti metalli o leghe metalliche possono presentare a diverse temperature diverse *strutture cristalline* (polimorfismo)



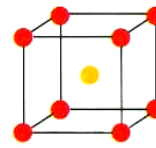
martensite

● Fe
• C

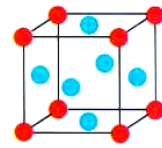
Diverso **reticolo cristallino** è sinonimo di diverse **proprietà meccaniche**



Cubico semplice



Cubico corpo centrato (ccc)



Cubico facce centrate (cfc)



Esagonale compatto

DIAGRAMMA Fe - C

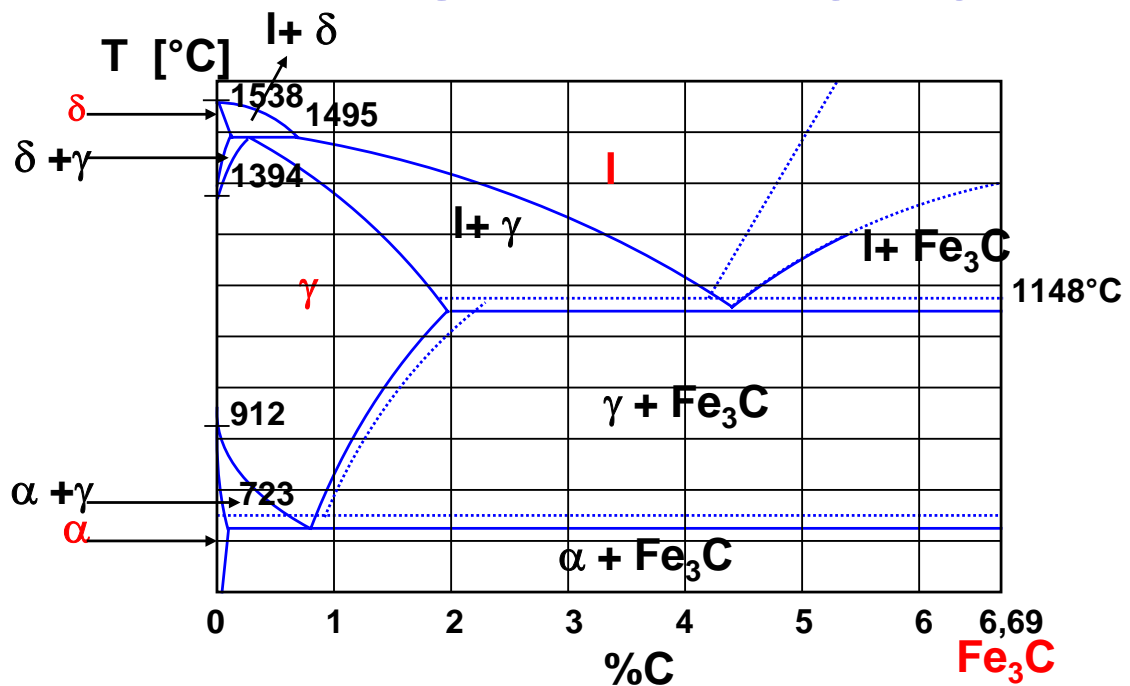


diagramma
Fe - Fe₃C

diagramma
Fe - C

DIAGRAMMA Fe - C

Fasi:

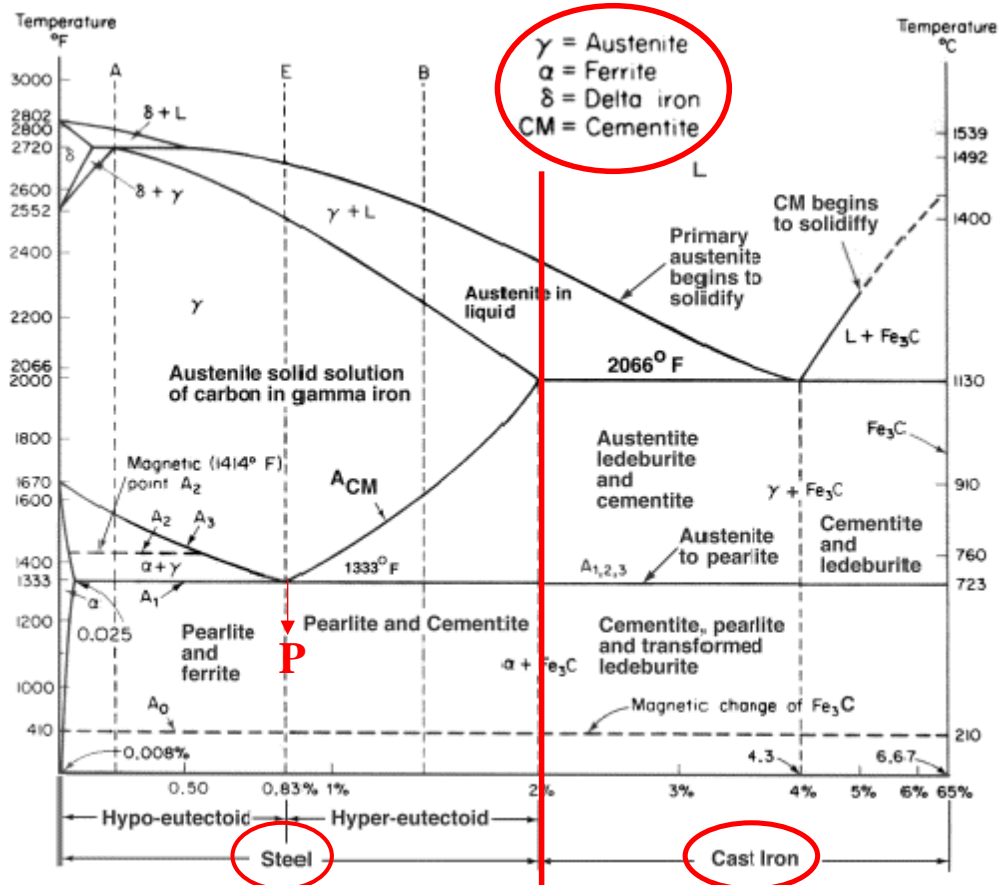
- fase liquida
- fase δ , α , γ o cristalli di ferro δ , α , γ
- fase Fe_3C

DIAGRAMMA Fe - C

Costituenti strutturali:

- *ferrite* \Rightarrow soluzione solida di C in ferro α
- *austenite* \Rightarrow soluzione solida di C in ferro γ
- *ferro δ* \Rightarrow soluzione solida di C nel ferro δ
- *cementite* \Rightarrow composto interstiziale Fe_3C con %C = 6,69
- *perlite* \Rightarrow eutettoide ferrite - cementite
- *ledeburite* \Rightarrow eutettico austenite - cementite

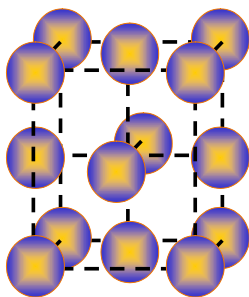
DIAGRAMMA Fe - C



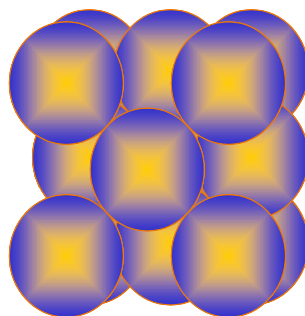
Reticolo cubico a facce centrate (c.f.c.)

Al, Cu, Ni, Pb, Fe γ, Ag, Au

cella elementare: è la più piccola parte del cristallo che ne conserva tutti gli elementi di simmetria



rappresentazione tradizionale



rappresentazione con il modello delle sfere rigide

n. atomi = 4

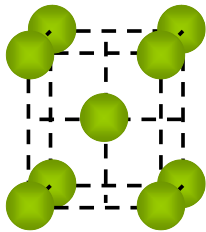
n. di coordinazione = 12

fattore di impaccamento = 0,72

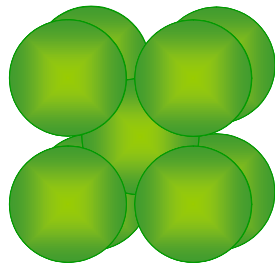
Reticolo cubico a corpo centrato (c.c.c.)

Cr, V, Mo, W, **Fe α**

cella elementare:



Rappresen-
tazione
tradizionale



Rappresentazio-
ne con il modello
delle sfere rigide

n. atomi = 2

n. di coordinazione = 8

fattore di impaccamento
= 0,68

DIAGRAMMA Fe - C

Punti critici

$A_4 \Rightarrow$ temperatura della trasformazione

$\delta \leftrightarrow \gamma$

$A_3 \Rightarrow$ temperatura della trasformazione

$\gamma \leftrightarrow \alpha$

$A_2 \Rightarrow$ punto di Curie (770°C) al di sopra del
quale la ferrite non è più magnetica

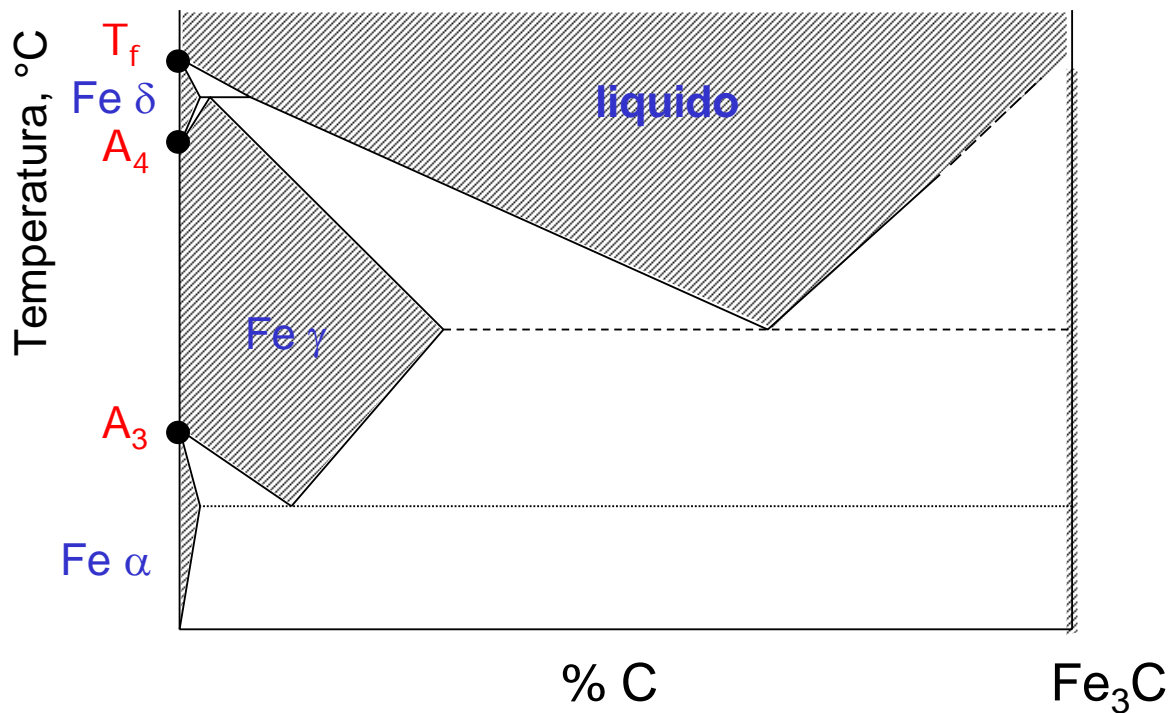
$A_1 \Rightarrow$ temperatura della trasformazione
eutettoide (723°C)

$A_{cm} \Rightarrow$ temperatura della trasformazione

$\gamma \leftrightarrow \text{Fe}_3\text{C}$

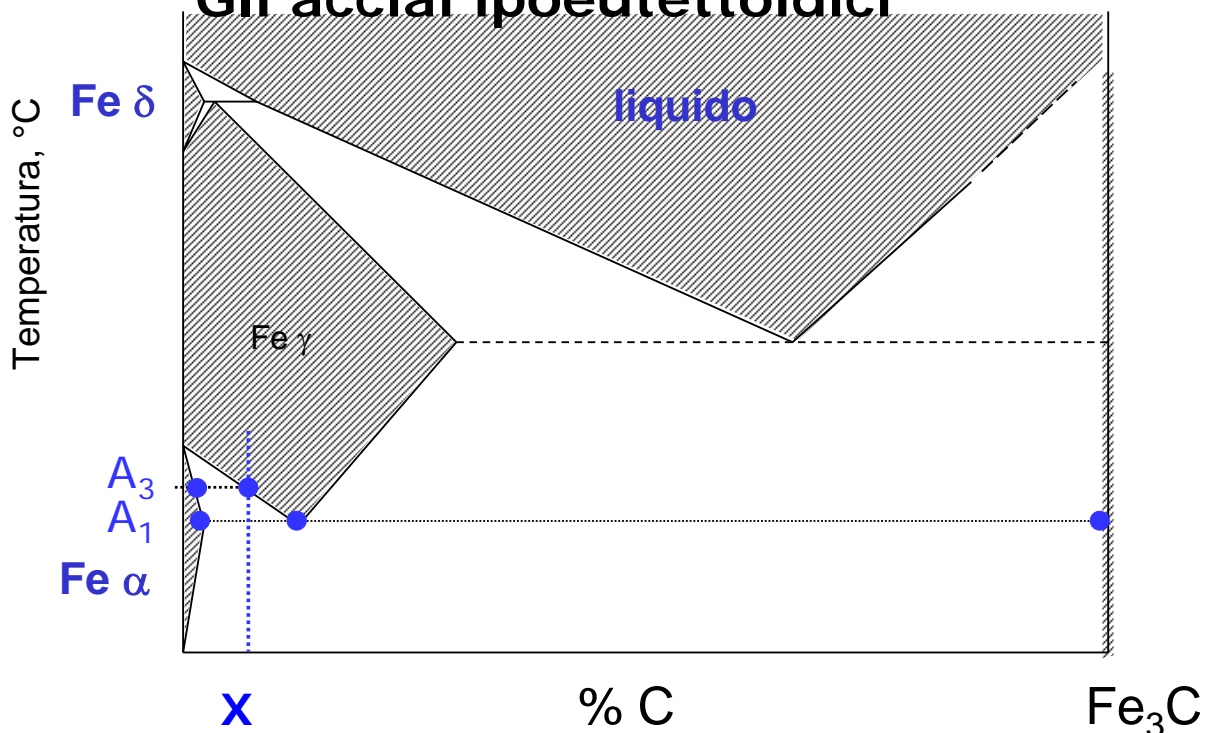
I PUNTI CRITICI:

Il ferro puro



I PUNTI CRITICI:

Gli acciai ipoeutettoidici

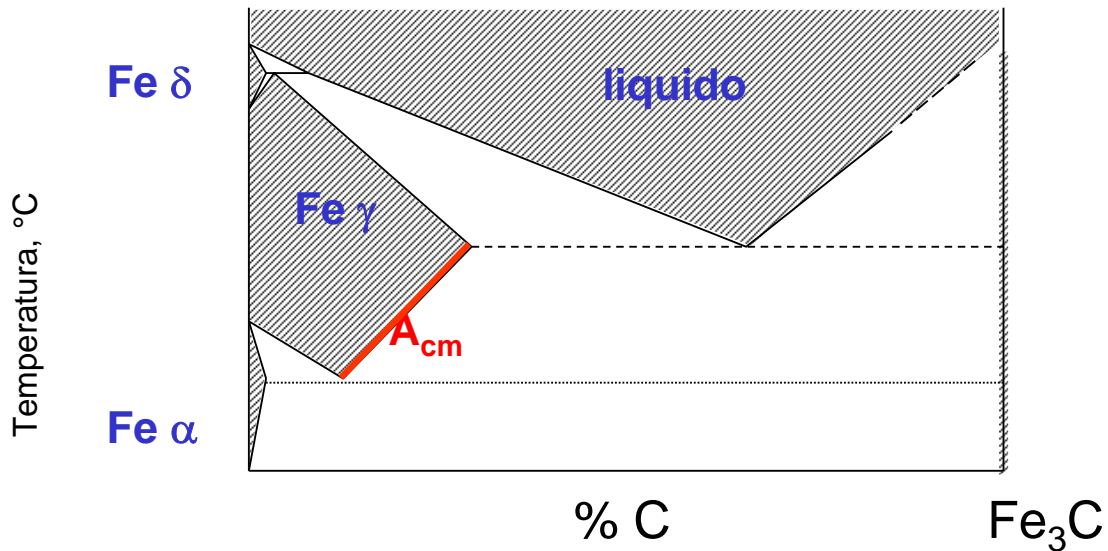


A₁: temperatura dell'equilibrio austenite ↔ perlite

A₃: temperatura d'equilibrio austenite ↔ ferrite

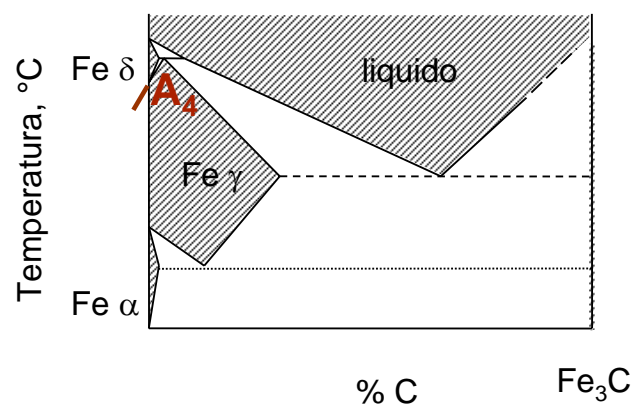
A_{cm} : temperatura d'equilibrio **austenite** \Leftrightarrow **cementite**

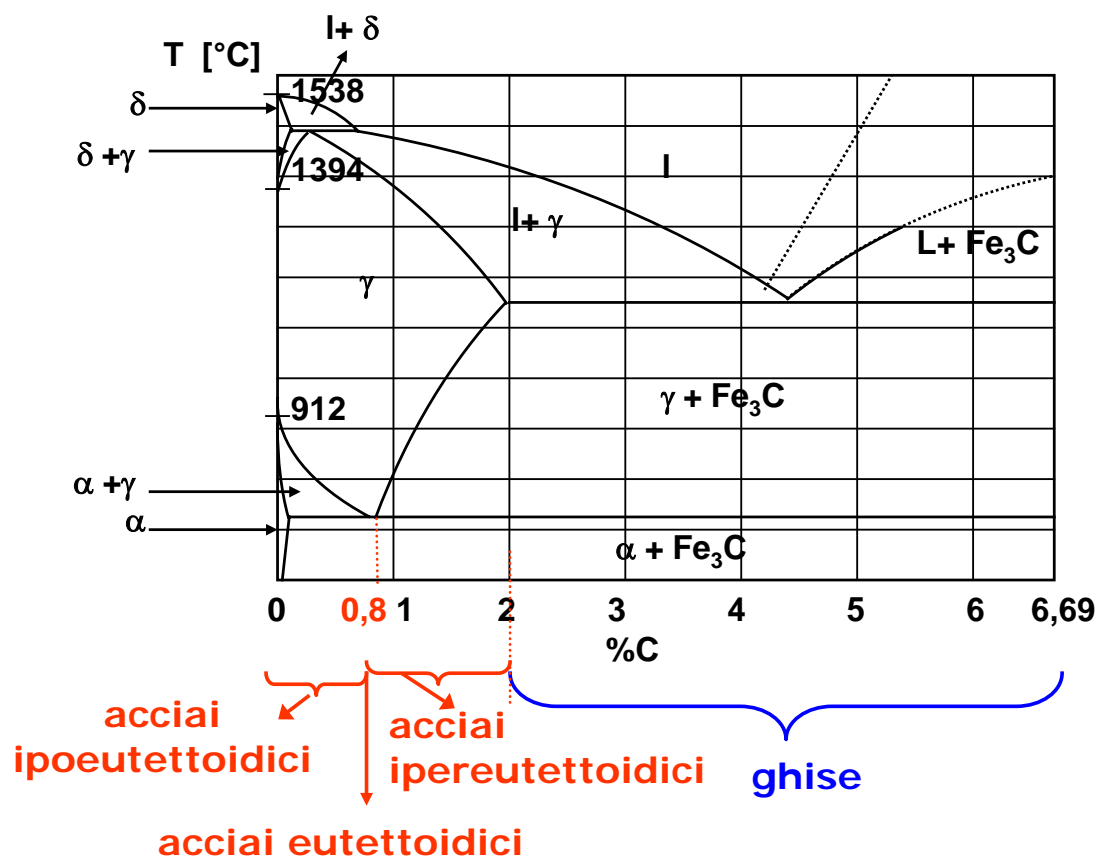
Per gli acciai ipereutettoidici, al di sopra della quale è stabile solo l'austenite



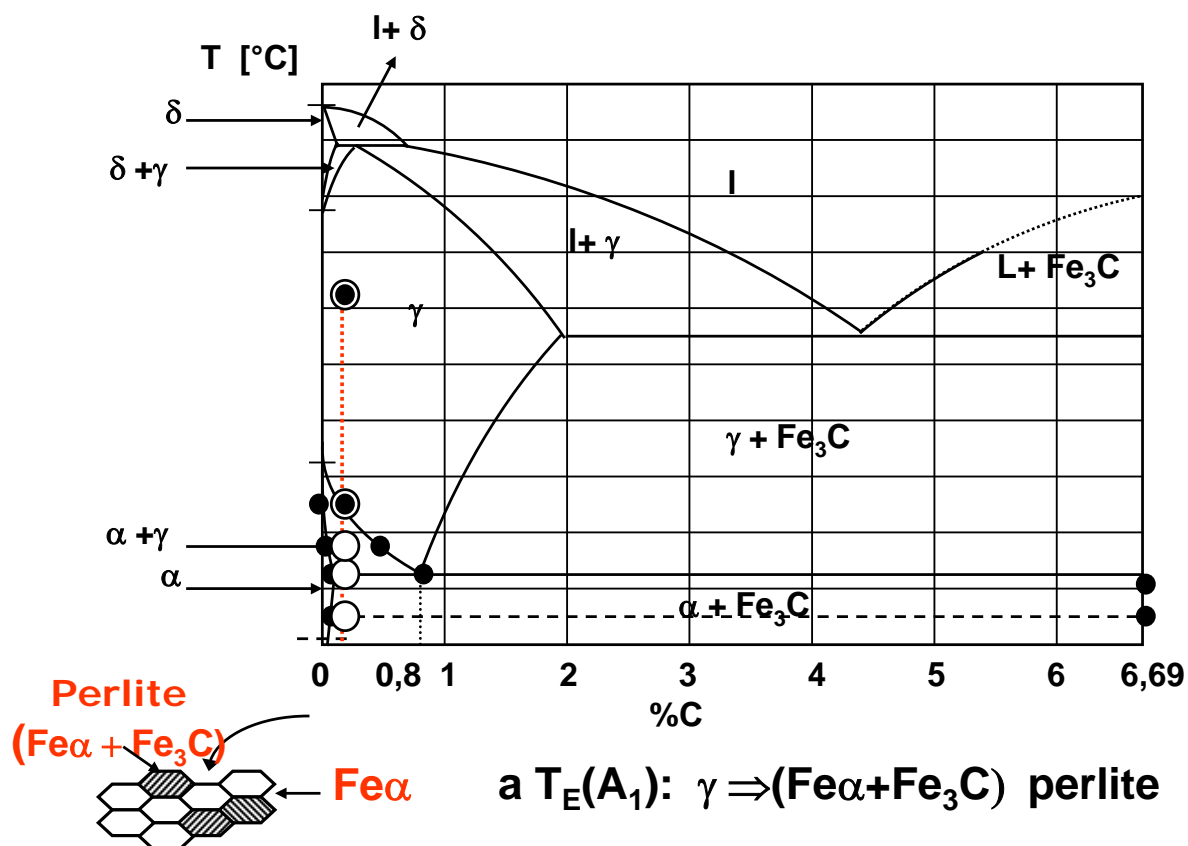
A_4 : temperatura d'equilibrio **austenite** \Leftrightarrow **ferrite δ**

Al di sotto della quale è stabile solo l'austenite

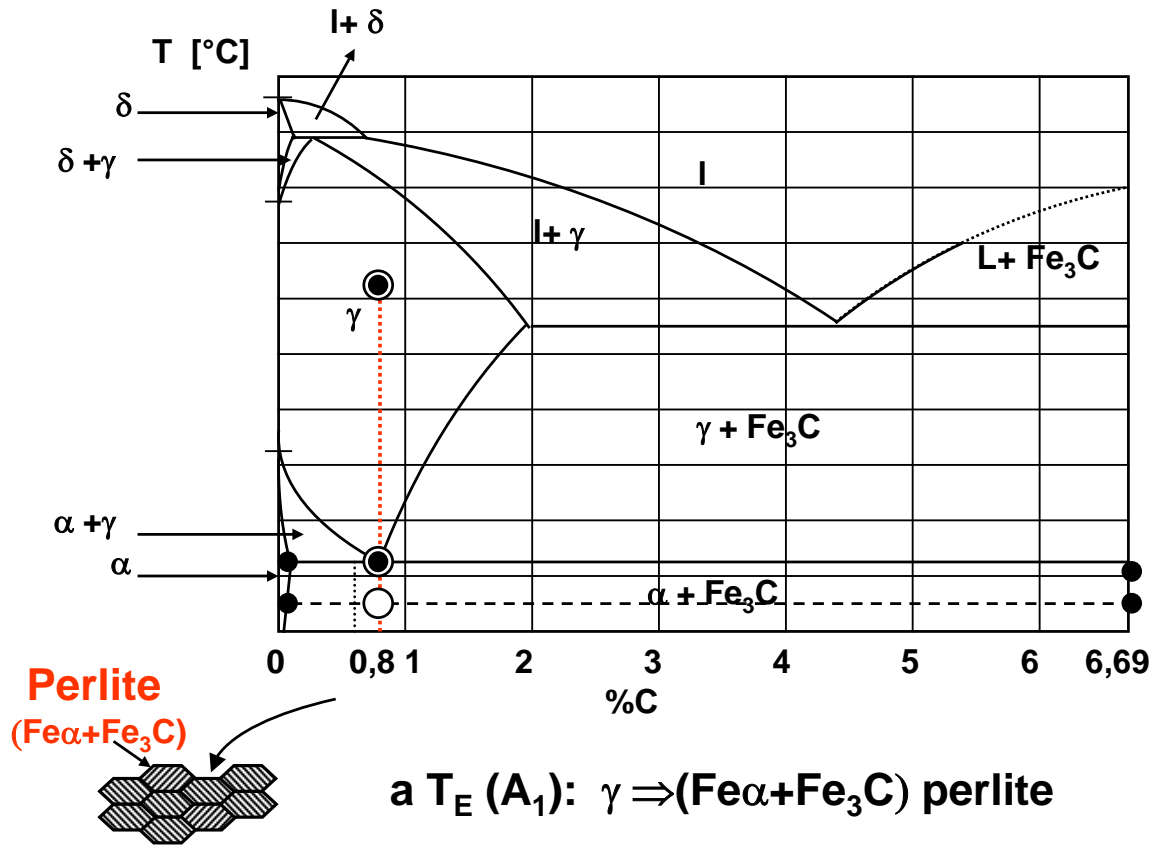




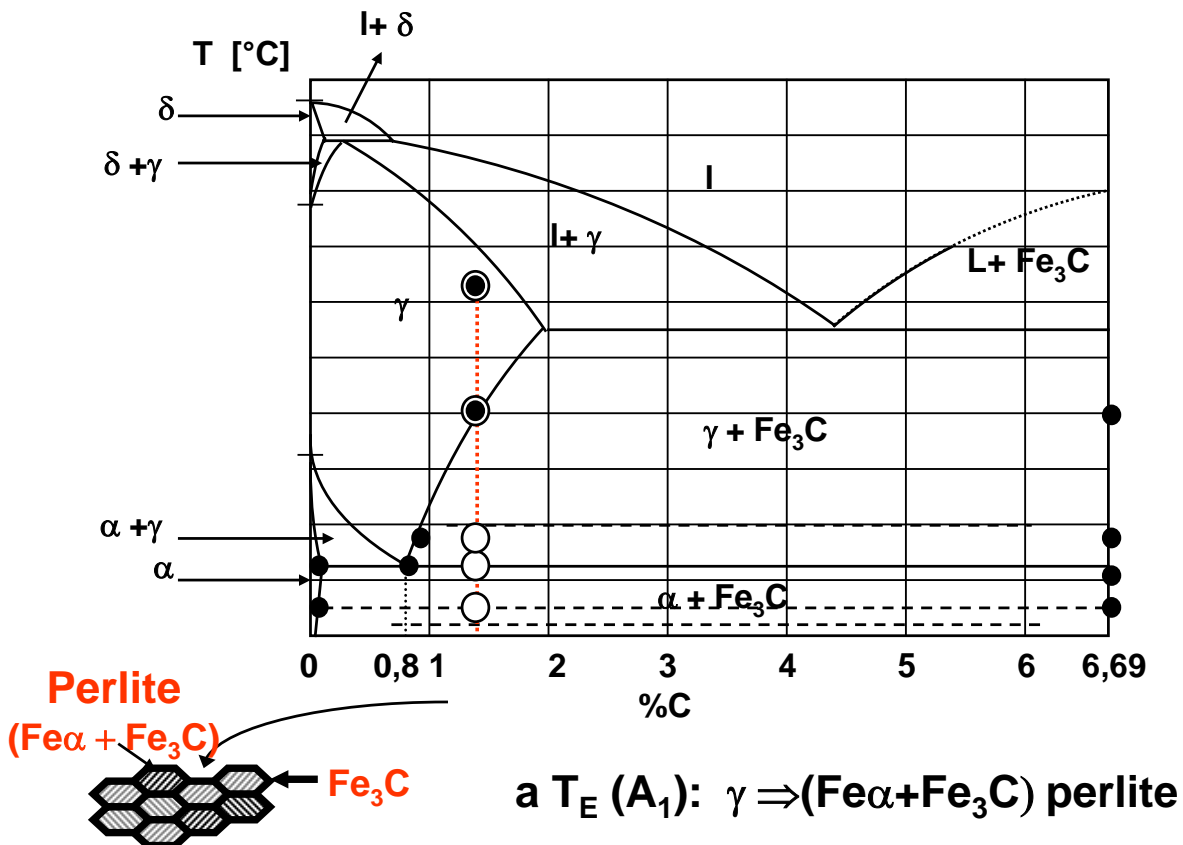
Acciaio ipoeutettoidico



Acciaio eutettoidico

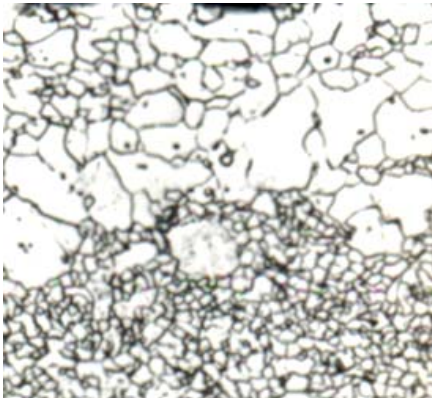


Acciaio ipereutettoidico



Ferrite (Fe_α):

Costituente a bassa durezza, attaccato debolmente dal *Nital*, preferenzialmente a bordo grano
(acido nitrico al 4% in alcol etilico, 10-60 s)



0,06%C
laminato a 845°C
avvolto a 620°C
100x Nital

L'attacco evidenzia un grano non orientato (equiassico) fortemente disomogeneo da zona a zona

Austenite ($\text{Fe}-\gamma$)

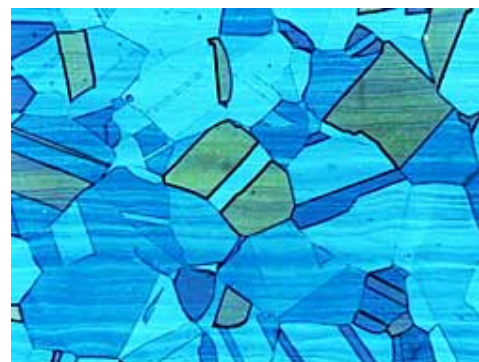
Stabile a $T > 723^\circ\text{C}$, reso stabile a T_{ambiente} con aggiunte in lega di elementi austenitizzanti (Ni, Mn, ecc)
Aspetto micrografico simile alla ferrite, ma bordi grano + squadrati



AISI 316

100x

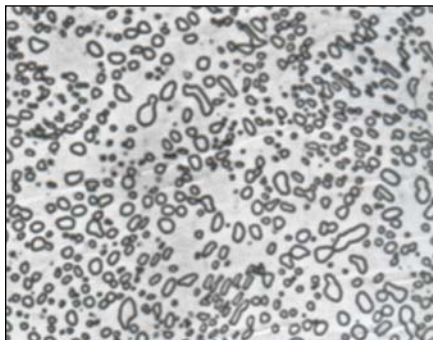
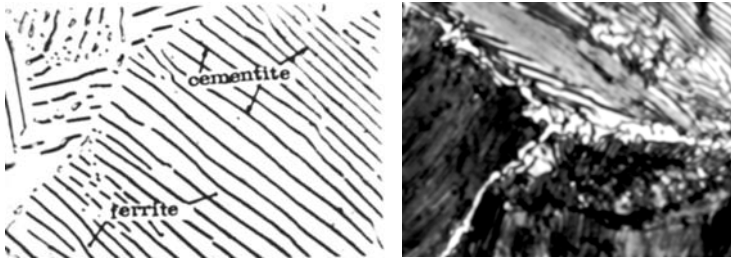
Tempra di soluzione 1035°C
raffreddamento in acqua
10ml HNO_3 , 10 ml acido acetico, 15ml HCl,
5ml glicerolo



austenitic stainless steel,
type AISI 304L

Cementite (Fe_3C : carburo di ferro) :

Cementite eutettoidica: quella costituente la fase cementite della perlite

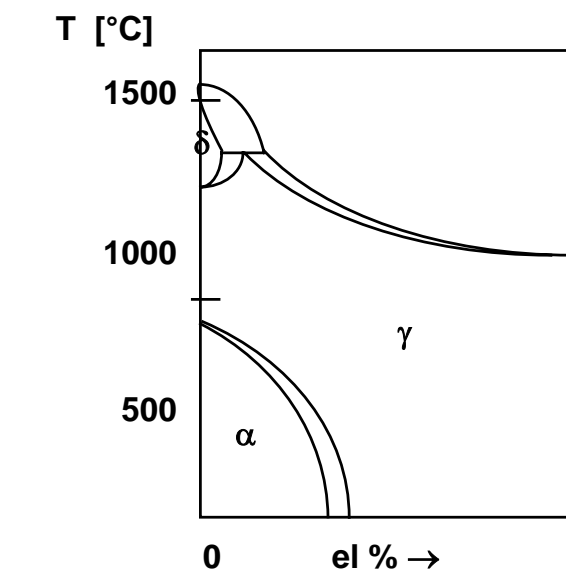


Cementite di coalescenza:
in globuli (per migliorare la lavorabilità)

Matrice ferrite+globuli di cementite
Nital
1000 x

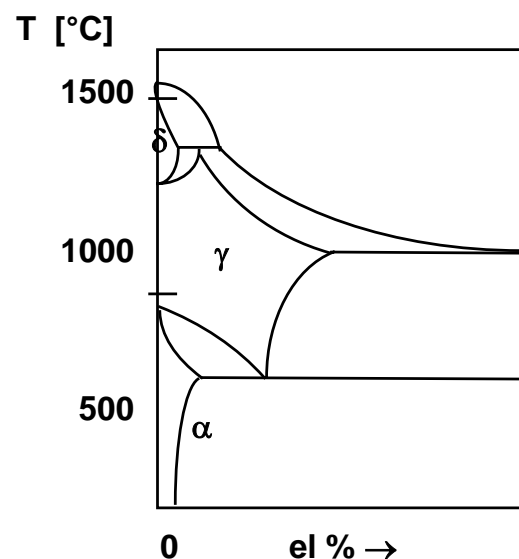
Elementi che allargano il campo γ

innalzamento di A_4 + abbassamento di A_3



campo γ aperto

↓
Ni, Mn, Co, Pt

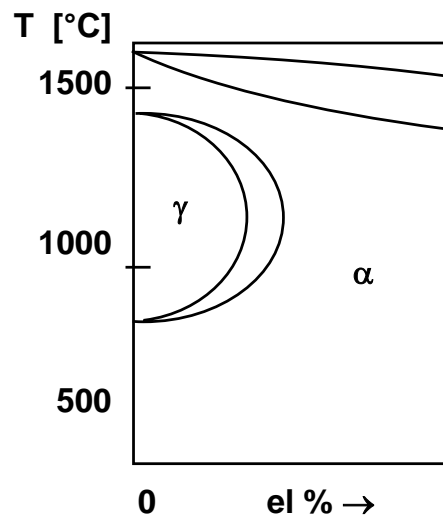


campo γ allargato

↓
C, N, Cu, Zn, Au

Elementi che restringono il campo γ

abbassamento di A_4 + innalzamento di A_3



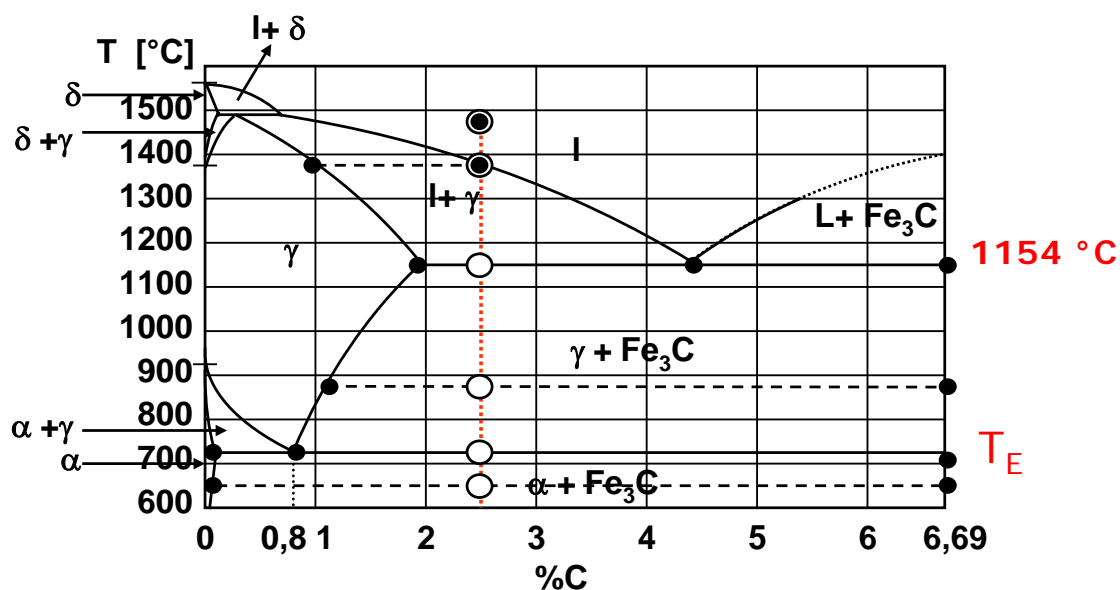
campo γ chiuso

→ **Al, Cr, Si, Mo**

campo γ ristretto

→ **B, S, O**

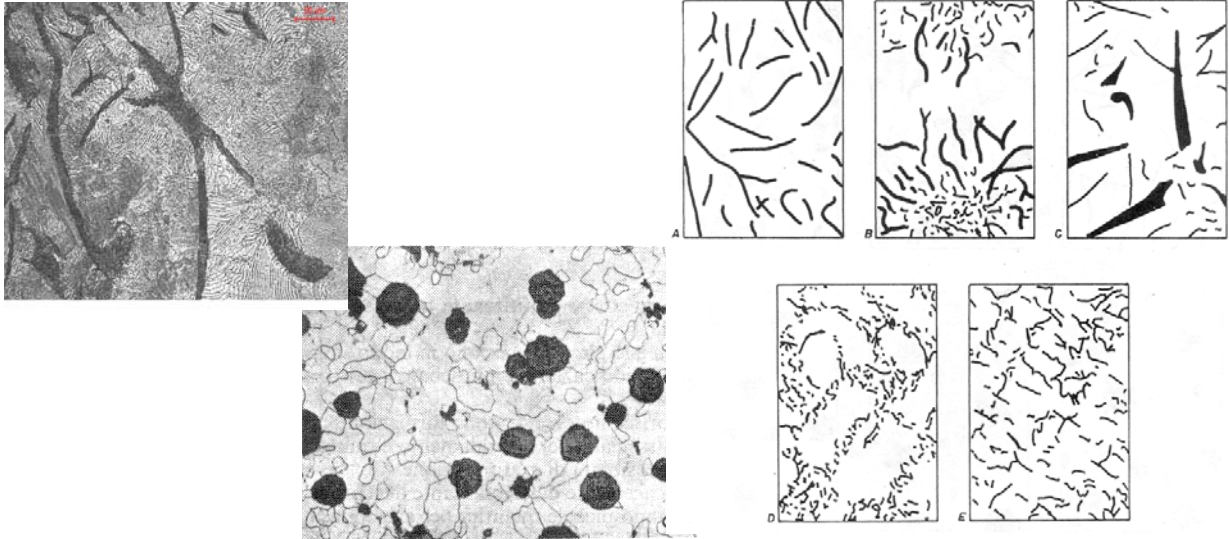
Ghisa



a **1154°C**: $L \Rightarrow (Fe\gamma + Fe_3C)$ ledeburite

a **T_E** (A_1): $\gamma \Rightarrow (Fe\alpha + Fe_3C)$ perlite

Ghisa



Caratteristiche meccaniche: funzione del tipo di microstruttura della matrice ma anche della percentuale, forma e distribuzione del carbonio sotto forma di ***grafite***